



Lettre Santé-environnement

septembre – octobre 2006, n°37

N° spécial – Dossier nano...

En fait il faudrait écrire nanotechnologies, nanomatériaux, etc. c'est pourquoi certain parlent de nanomonde !

Nous sommes dans un nouvel univers qui comporte des dimensions très petites, des possibilités étonnantes où les enjeux économiques sont certainement très conséquents. Un chef d'entreprise expliquait ces jours derniers à un ministre combien dans le domaine de l'usinage, en terme de mécanique de précision, faire appel aux nano, cela permettait de rester compétitif et de maintenir des emplois.

Mais nous avons matière à nous poser des questions, à être très vigilants et à interpeller si besoin est les pouvoirs publics.

Nous le pensions déjà ... des récentes publications d'organismes reconnus nous le confirment.

Ce numéro spécial de la Lettre du Réseau santé-environnement souhaite vous aider à découvrir autrement que par l'angle publicitaire les nano et vous proposer plein de pistes pour que vous puissiez vous-même continuer votre quête de connaissance.

Si vous découvrez des choses importantes que nous n'avons pas repérées, et c'est tout à fait prévisible, informez nous en retour. C'est important de partager !

José Cambou
Pilote du Réseau santé-environnement

Lettre du Réseau Santé-environnement – N°37 – septembre - octobre 2006 - Lettre externe du Réseau Santé-environnement de France Nature Environnement – Fédération française des associations de protection de la nature et de l'environnement fondée en 1968 et reconnue d'utilité publique en 1976.

Site web : www.fne.asso.fr – siège social : 57, rue Cuvier 75231 Paris cedex 05 – Réseau Santé-environnement : 14 rue de Tivoli 31068 Toulouse cedex – Tél/Fax : 05 61 53 13 88 – mail : sante-env@fne.asso.fr

Directeur de la publication : Sébastien Genest – **Rédacteur en chef** : José Cambou

Maquette : Grégory Lalloué.

Les nanoparticules manufacturées constituent une question de santé-environnement à part entière !

Par José Cambou, Pilote du Réseau santé-environnement de FNE

Les nanoparticules manufacturées, il est temps d'en parler !

Le développement des nanotechnologies suscite certaines interrogations chez les professionnels de la santé et de l'environnement, et dans la population en général, reconnaît le MEDD. Nous partageons ces interrogations ; elles concernent en particulier deux points. Tout d'abord celui de la perception de l'avènement de l'infiniment petit dans notre vie quotidienne qui peut être ressenti comme intrusif en l'absence d'information et de contrôle adaptés. Le second point d'interrogation concerne l'impact éventuel des nanoparticules manufacturées, dites aussi intentionnelles, sur l'environnement et sur notre santé -les particules en question sont de taille égale ou inférieure à 100 nanomètres¹- et c'est sur cet aspect là que nous vous proposons de vous pencher quelques instants. Rappelons au préalable que le marché des nanotechnologies est décrit comme présentant un fort potentiel au cours de ce 21ème siècle, concernant de nombreux secteurs et on parle d'un marché se chiffrant en milliards d'euros². C'est dire que l'approche santé-environnement risque de ne pas peser lourd face aux intérêts économiques si la société civile ne se mobilise pas pour en savoir plus, donner son avis et tenter de peser sur les décisions publiques en la matière.

Nous sommes dans un contexte d'actualité :

- Durant la première quinzaine de juillet 2006 ont été rendus publics l'avis du CPP³ et celui de l'AFSSET⁴ ([voir titres exacts et liens](#)).
- Les administrations des ministères chargés de la santé, du travail et de l'écologie ont décidé d'organiser un séminaire gouvernemental d'échanges et de réflexion sur les risques liés aux Nano-matériaux / Nano-technologies le 19 octobre 2006.
- Lors de son discours prononcé pour la clôture des Etats généraux des Entreprises et du Développement durable, le 31 mai 2006, le Premier Ministre a annoncé le lancement d'un débat public sur les nano-technologies.⁵

¹ 1/10ème de micron. C'est-à-dire d'un diamètre inférieur à 100 nanomètres (nm) 1nm = 10⁻⁹ m.

² Le revenu mondial généré par les nanotechnologies était supérieur à 40 milliards d'euros en 2001 (estimation de la Commission européenne), et il est estimé à plus de 700 milliards d'euros pour 2008. Il devrait atteindre 1.000 milliards d'euros par an en 2010-2015 et concerner l'emploi de près de 2 millions de personnes dans le monde. Source : Afsset – Les nanomatériaux : effets sur la santé de l'homme et sur l'environnement – 07/2006 – P 35

³ Comité de la Prévention et de la Précaution. « Mon ministère a saisi le CPP à la fin de l'année 2004, pour entamer très tôt une réflexion sur l'impact sanitaire de ces nano-particules manufacturées, c'est-à-dire produites intentionnellement, à la différence de celles constituant des déchets ou des polluants, telles que les particules fines issues des combustions de carburants fossiles. » Extrait du discours de Nelly Olin pour la conférence de presse sur les nanotechnologies organisée par le Comité de la Prévention et de la Précaution lors de la remise de son rapport le 05 juillet 2006. Pour en savoir plus sur le CPP : http://www.ecologie.gouv.fr/rubrique.php3?id_rubrique=443

⁴ Agence Française de Sécurité Sanitaire Environnement et Travail.

« Les ministères chargés de l'environnement, de la santé et du travail ont demandé à l'Afsset, par une saisine datée du 7 septembre 2005, de réaliser une expertise sur les effets sur la santé des nanoparticules et des nanomatériaux manufacturés.

[...] La mission sera, conformément aux termes de la saisine, de réaliser une synthèse des connaissances scientifiques et techniques sur les nanomatériaux manufacturés (propriétés, domaines d'utilisation, toxicologie, effets biologiques et sanitaires, outils métrologiques, exposition, impacts sanitaires, etc.) et de proposer des pistes prioritaires pour la réalisation d'études et de recherches sur l'évaluation des risques sanitaires. Ces évaluations concernent l'exposition en milieu professionnel ainsi que celle de la population générale. »

Pour répondre à cette saisine, l'Afsset a constitué un groupe d'experts issu de son Comité d'experts spécialisés « Evaluation des risques liés aux agents physiques, nouvelles technologies et grands aménagements ». En outre participeront à ce groupe de travail des experts issus notamment du CEA, de l'Académie des technologies, de l'INSERM, du CNRS et de l'INERIS. Le rapport sera rendu public courant 2006.

Source : Programme de travail 2006 de l'AFSSET voté lors de son CA du 24/03/2006.

⁵ http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/discours_egedd_DV-2.pdf

- L'inauguration du site Minatec à Grenoble a eu lieu le 2 juin 2006. Lancé à l'initiative du CEA-Leti Grenoble et de l'INP Grenoble, Minatec a pour ambition de devenir le Pôle d'Innovation et d'expertise majeur en Europe pour les micro et nanotechnologies. Il fait l'objet de contestation.⁶

Les nanoparticules sont déjà parmi nous et leur utilisation se diversifie !

« Les domaines d'usage potentiels des nanotechnologies sont très nombreux (rapport Le Marois⁷) : les économies d'énergie des véhicules de transport, le développement des énergies renouvelables, la réduction des pollutions, la filtration de l'eau potable, les matériaux de construction, les applications médicales, la cosmétique, la pharmacie, les technologies de traitement de l'information, le renforcement des pneumatiques, l'optique, les textiles, le marquage, les peintures, les encres, etc. On peut donc s'attendre à un développement rapide de l'usage des nanoparticules dans un grand nombre d'industries, notamment dans l'agro-alimentaire, l'aéronautique, l'automobile, la chimie, la construction, la cosmétique, la défense, l'électronique, la production d'énergie, l'optique, la pharmacie, le textile, etc.

Les plus grandes utilisations industrielles actuelles sont liées à la fabrication des pneumatiques (oxyde de silicium) et pour la formulation des cosmétiques, avec une consommation dépassant 1.000 tonnes par an (principalement d'oxyde de titane). Les autres usages actuels semblent ne pas dépasser chacun 10 tonnes par an, mais sont promis à une forte croissance. [...] Il existe donc d'un côté une organisation spécifique pour la production des nanoparticules dans un très petit nombre d'entreprises productrices hautement spécialisées, d'un autre un usage qui se répand dans un grand nombre d'industries utilisatrices mettant en œuvre des procédés conventionnels (par exemple pour la fabrication des pneumatiques).»⁸

« Un matériau réduit en nanoparticules peut acquérir des propriétés entièrement nouvelles. [...] Le carbone sous forme de mine de crayon est tendre et malléable alors que les nanofibres de carbone sont beaucoup plus résistantes que l'acier. L'aluminium sous forme de nanopoudre peut exploser spontanément et pourrait être utilisé comme carburant pour les fusées. De manière générale, plus les matériaux sont petits, plus ils réagissent vite et violemment. »⁹ L'étude et l'utilisation de matériaux nanostructurés connaissent un essor considérable en raison de leurs propriétés particulières par rapport aux matériaux massifs.¹⁰ En ce qui concerne les propriétés mécaniques, l'effet de la nanostructure se traduit par un phénomène de superplasticité. Par exemple un allongement extrêmement important (de plus de 5.000 %) pour un matériau de cuivre nanocristallin obtenu par laminage à froid. Les nanomatériaux permettent d'améliorer la résistance des matériaux sans compromettre leur ductilité car la taille des nanoparticules limite les concentrations de contraintes. L'introduction de nanoparticules et/ou de nanotubes peut modifier de façon drastique la conductivité électrique de matériaux réputés isolants ; par exemple, la conductivité électrique atteint 3345 S/m pour un ajout de 15 % vol. de nanotubes de carbone de type monofeuillet dans une matrice d'alumine, correspondant à une modification de 13 ordres de grandeur de la valeur initiale. Les nanoparticules ont des dimensions inférieures aux longueurs d'onde de la lumière visible (380 – 780 nm), ce qui permet d'améliorer les propriétés optiques du matériau. L'ajout de nanoparticules peut permettre d'améliorer certaines propriétés de transfert thermique avec de faibles fractions volumiques. Par exemple un ajout de 0,2 % en fraction

⁶ Si vous en voulez savoir plus :

www.ogn.ouvaton.org (site de la contestation grenobloise),

www.minatec.com (site de Minatec).

⁷ Projet Plan "Nanomatériaux" : 10 propositions d'actions concrètes - présenté par M. Gilles Le Marois DGE-Simap-ITVM, 8 juillet 2005. - http://www.cnisf.org/biblioth_cnisf/etudes/Plan%20Nano.pdf

⁸ Rapport CPP.

⁹ Source : Environnement 2/06 publié par l'Office fédéral suisse de l'environnement – « L'infiniment petit en question ».

¹⁰ Les exemples donnés dans le paragraphe sont tirés du chapitre II du rapport de l'Afsset – Les nanomatériaux : effets sur la santé de l'homme et sur l'environnement.

volumique de nanoparticules de fer se traduit par une augmentation de plus de 10 % de la conductivité thermique.

Dans les nanocomposites à matrice polymère, l'incorporation d'argile augmente les propriétés de barrière vis-à-vis de l'eau et des gaz du fait de l'augmentation de la distance à parcourir pour les molécules qui diffusent. Les lamelles de silicate sont imperméables à l'eau et aux gaz. L'influence de la dimension des domaines cristallins a un effet très important sur le comportement magnétique des matériaux. La modification des propriétés catalytiques de nanoparticules manufacturées est illustrée par l'exemple des nanoparticules d'or.

Les nanomatériaux peuvent être classés en quatre familles selon leurs formes d'utilisation :

- Matériaux de dimension 0 : matériaux sous forme dispersée, aléatoire ou organisée, comme dans les cristaux colloïdaux pour l'optique ou les fluides magnétiques,
- Matériaux de dimension 1 : matériaux sous forme de nanofils ou de nanotubes,
- Matériaux de dimension 2 : matériaux sous forme de couche mince, comme dans les dépôts d'agrégats ou de revêtements épais obtenus par projection plasma ou voie électrochimique,
- Matériaux de dimension 3 : matériaux sous forme compacte comme dans les céramiques et les métaux nanostructurés.

« Les nanomatériaux pourront être largement utilisés à court, moyen et long terme dans de nombreux secteurs industriels et faire partie de notre quotidien. Certains sont d'ores et déjà en phase de production industrielle. »¹¹

C'est pourquoi les questions en terme de danger et de risque concernent les écosystèmes et les diverses espèces et, en ce qui concerne l'être humain, les populations de travailleurs mais aussi la population générale.

L'encadrement réglementaire est inexistant voire inadapté !

Pour le CPP, à ce jour, « il n'existe pas de textes applicables aux nanoparticules manufacturés en tant que telles. Toute une série de réglementations existantes leur paraît certes potentiellement applicable mais aucune ne les vise spécifiquement, ce qui en rend la mise en œuvre très aléatoire et exige une clarification des textes existants et l'adoption rapide de nouvelles mesures. »

« Actuellement, il n'y a pas de réglementation spécifique sur les nanotechnologies mis à part aux Etats-Unis où une loi relative à la recherche et au développement des nanotechnologies au XXIème siècle (loi publique 108-153) a été votée en 2003. Toutefois, beaucoup de pays reconnaissent que les nanotechnologies devraient être prises en compte par la réglementation en raison des effets de leur taille, de la persistance dans l'environnement, de leur destruction et de la particularité des nanosystèmes produits par auto-assemblage. L'architecture originale des nanomatériaux, et les propriétés qu'elle leur confère, sont source d'interrogations sur la capacité de la réglementation, actuelle et à venir, à couvrir les risques très particuliers qu'ils sont susceptibles de générer. En effet, tant les directives européennes que les textes français qui entourent la question du risque chimique se fondent sur l'évaluation de substances chimiques produites par des procédés « classiques ». Ainsi, cette approche est susceptible de ne pas couvrir de manière adéquate la structure complètement nouvelle des nanoparticules. Il convient, dès lors, d'examiner comment ces nouveaux composés peuvent trouver une place dans les dispositifs concernés. »¹²

¹¹ Afsset – Les nanomatériaux : effets sur la santé de l'homme et sur l'environnement – P 45

¹² Afsset – Les nanomatériaux : effets sur la santé de l'homme et sur l'environnement – P 77

De quelles informations dispose-t-on en terme de toxicité pour l'environnement ?

Les apports potentiels à l'environnement de nanoparticules sont étroitement liés au cycle de vie des nanomatériaux : production, usage, traitement d'objets en nanomatériaux (sciage, meulage, polissage, ...), résidus ultimes. La contamination des écosystèmes terrestres et aquatiques est à envisager.

Pour déterminer l'impact des nanoparticules sur l'environnement, il faut arriver à répondre

aux 5 questions suivantes :

- « - Quelles quantités de nanoparticules sont rejetées dans l'environnement ?
- Quelle est la distribution des nanoparticules dans l'environnement (air, eau, sol) ?
- Quels sont les lieux d'accumulation préférentiels des nanoparticules ?
- Quelles sont les conditions de persistance ou de dégradation des nanoparticules ?
- Quelle est l'écotoxicité des nanoparticules ?

[...] A l'heure actuelle, les données sur le comportement des nanomatériaux dans l'environnement ainsi que leur toxicité sont rares ; celles qui existent traitent majoritairement des fullerènes¹³ (C60).

[...]

La dispersion dans l'environnement est un phénomène majeur dans le cycle de vie des substances chimiques. En ce qui concerne la dispersion des nanoparticules, le manque d'études spécifiques s'est traduit par la mise en place de programmes de recherche traitant du comportement des nanomatériaux dans l'environnement, des mécanismes de biodégradation et de bioaccumulation (Université de Houston), de l'adsorption de polluants sur des nanoparticules fabriquées ou du comportement biologique et chimique des nanotubes de carbone dans les sédiments estuariens (US-EPA). Les résultats de ces études sont attendus pour juin 2007.

[...]

Aucune information n'est disponible sur la capacité de dégradation des nanoparticules.

On peut envisager deux types d'impacts des nanoparticules industrielles sur les organismes vivants :

- un effet direct lié à une toxicité intrinsèque (assimilation cellulaire directe des nanoparticules par les différents organismes).
- un effet indirect lié à la présence de polluants adsorbés à leur surface (oxydes, phosphates, silicates) ou dans leur structure (nanotubes de carbone, fullerènes, etc.).

Par ailleurs il ne faut pas perdre de vue que les propriétés de ces particules peuvent être modifiées du fait des conditions environnementales ; c'est pourquoi les effets observés en laboratoire sur certains organismes aquatiques peuvent être différents des effets réels pouvant survenir en milieu naturel.

Il n'existe pas de données concernant la toxicité directe ou indirecte des nanoparticules sur la flore. Compte tenu de leur taille, les plantes pourraient absorber les nanoparticules présentes dans les sols par leur système racinaire et celles présentes dans l'air par leurs stomates. Par ailleurs, ces nanoparticules pourraient entraîner des effets indirects sur les végétaux du fait de la présence de polluants à leur surface ou piégés dans leur structure. (Hett, 2004). En absence de données, ceci reste au niveau de l'hypothèse.

En ce qui concerne la toxicité de ces nanoparticules vis-à-vis de la faune, il faut noter le faible nombre et le caractère contradictoire des données disponibles. La majorité des données disponibles provient de trois équipes de recherche. [...] Pour conclure il est bon de rappeler que l'US-EPA a initié en juillet 2004 de nombreux programmes de recherches qui ont pour objectif d'identifier l'impact environnemental des nanotechnologies. Ainsi, les programmes de recherche portent notamment sur :

- la toxicité des nanoparticules photocatalytiques sur les bactéries, les algues et le zooplancton ;

¹³ La molécule C₆₀ ou fullerène est constituée de 60 atomes de carbone répartis sur les sommets d'un polyèdre régulier à facettes hexagonales et pentagonales.

- la répercussion des nanoparticules à base de carbone sur les processus microbiens des différents écosystèmes.

Les résultats de ces études sont attendus pour juin 2007.¹⁴ »

Pour le CPP « Aucune évaluation des risques, y compris pour les nanostructures les plus fabriquées, n'est actuellement disponible. Toutefois les résultats de tests de laboratoire, effectués selon des méthodologies éprouvées pour les substances chimiques en général, laissent penser que les organismes vivants (microorganismes, invertébrés, vertébrés, plantes) peuvent être affectés par l'exposition à des nanomatériaux. Les données fondamentales nécessaires à ces évaluations, ainsi que les protocoles de bioessais adaptés aux nanomatériaux, font actuellement défaut. »

Il précise par ailleurs que les conclusions des différentes études « apportent des informations complémentaires sur les modalités de pénétration des nanoparticules dans l'organisme animal, en particulier l'existence de passages suivants :

- transcutané,
- vers le système nerveux central via le nerf olfactif,
- à travers la barrière alvéolo-capillaire pulmonaire,
- transplacentaire,
- à travers la muqueuse intestinale,
- à travers la barrière hémato-encéphalique. »¹⁵

Connaît-on les risques sanitaires pour les humains ?

« Les sources d'exposition de la population générale sont potentiellement très nombreuses (produits cosmétiques, agroalimentaire ou textile, par exemple). La population générale peut être exposée aux nanomatériaux de façon directe (cosmétiques, médicaments, emballages alimentaires, textiles, vêtements, etc.) ou indirecte suite à l'usure ou à la dégradation de nanomatériaux et donc à la libération de nanoparticules présentes dans des pneumatiques, encres, textiles, appareils électroniques, carburants, etc. Les voies d'exposition potentielles sont l'inhalation, le contact cutané (notamment pour les cosmétiques), l'ingestion et la voie parentérale. Néanmoins, il n'existe pas encore de quantification de l'exposition de la population générale, ce qui ne permet pas d'évaluer le risque sanitaire correspondant. »¹⁶

Les études toxicologiques publiées sur ces risques, in vitro et sur l'animal, sont encore très peu nombreuses mais établissent l'existence de risques potentiels de toxicité liés à la fabrication et l'utilisation de certains nanomatériaux et il faut noter une absence d'études épidémiologiques portant sur les travailleurs et la population générale exposés aux nanoparticules et nanomatériaux manufacturés.

Voyons de plus près les données disponibles.

De quelles informations dispose-t-on en terme de toxicité pour l'homme ?

« La question de la toxicité spécifique des nanoparticules est une problématique extrêmement complexe, encore insuffisamment étudiée. Quelques particularités physico-chimiques responsables des effets toxiques des nanoparticules manufacturées peuvent être retenues :

- la surface, la taille ou le nombre des nanoparticules jouent un rôle fondamental dans l'expression de leur toxicité pulmonaire ; la surface peut intervenir par l'intermédiaire de facteurs très différents ;
- jouent aussi des rôles importants : la nature de la substance, la forme de la nanoparticule, la réactivité chimique, la présence de métaux en quantités suffisantes, l'état d'aggrégation / agglomération ;

¹⁴ Afsset – Les nanomatériaux : effets sur la santé de l'homme et sur l'environnement – Juillet 2006 – chapitre IX.

¹⁵ P 27 de l'avis du CPP.

¹⁶ Rapport du Comité des Experts AFSSET résumé P 5.

- des interactions entre paramètres aboutissant à des effets biologiques synergiques sont vraisemblablement présentes.

S'il est justifié de parler de toxicité spécifique des nanoparticules en raison du rôle souvent marquant de paramètres physiques comme la surface, la taille, ou le nombre des particules, il convient de ne pas oublier les enseignements de la toxicologie de base, à savoir que la nature de la substance joue toujours un rôle fondamental (formule chimique, réactivité, cristallinité, biodisponibilité, solubilité, etc.)¹⁷

Les nanoparticules sont divisées en cinq groupes : les fullerènes, les nanotubes de carbone, les nanoparticules inorganiques (nanoparticules constituées de métaux purs ou de différents produits ou alliages inorganiques), les nanoparticules organiques (nanoparticules constituées de diverses substances organiques, souvent des polymères insolubles auxquels peuvent être greffés différents radicaux organiques) et les «quantum dots¹⁸» ou nanocristaux semiconducteurs.

Outre les effets directs sur l'appareil respiratoire lors de l'exposition par inhalation, il est important de parler des mécanismes de dissémination dans l'organisme des nanoparticules lors de l'exposition par inhalation. Trois types de transfert ont été repérés : la translocation épithéliale, la translocation dans le système circulatoire, la translocation par les axones des neurones.

Les résultats de différentes études montrent, chez divers animaux, que les nanoparticules peuvent passer à travers l'épithélium bronchique et alvéolaire vers l'interstitium. La translocation de particules fines est plus importante chez des animaux de grande taille (chien, singes) que de petite taille (rat, souris) « En conséquence, on peut penser que la translocation de nanoparticules observée chez le rat pourrait exister chez l'homme également.¹⁹ »

« Une fois que les particules ont atteint l'interstitium pulmonaire, elles peuvent passer dans la circulation sanguine, en plus du passage dans la circulation lymphatique. Différentes études ont montré cette voie de translocation des nanoparticules. [...] La translocation circulatoire de nanoparticules chez l'homme est plus contestée que chez les rongeurs. [...] En tenant en compte l'ensemble des données publiées sur ce sujet, il est probable que la translocation circulatoire existe chez l'homme, cependant l'importance de ce phénomène doit être variable en fonction des propriétés physico-chimique des nanoparticules. Il existe une autre voie de translocation de nanoparticules à partir de l'appareil respiratoire. Cette voie fait intervenir le passage au système nerveux central via les axones de neurones des nerfs olfactif et trigéminal innervant la muqueuse nasale. [...] Des données expérimentales ou provenant de modèles mathématiques devraient permettre de vérifier si une translocation axonale existe ou non chez l'homme.²⁰ » Elle a été observée chez le rat.

Quelles informations donnent les études toxicologiques des nanoparticules après exposition cutanée ? Pour les fullerènes, les nanoparticules organiques et les quantum dots, aucune donnée n'est disponible. En ce qui concerne les nanotubes de carbone, notamment des effets cytotoxiques ont été démontrés. Des questions se posent au sujet de l'utilisation de nanoparticules pour les cosmétiques, divers travaux sont disponibles.²¹

« Les particules nanométriques peuvent se retrouver dans le système gastro-intestinal après avoir été ingérées, par exemple si elles sont contenues dans des aliments, de l'eau

¹⁷ Afsset – Les nanomatériaux : effets sur la santé de l'homme et sur l'environnement – Juillet 2006 – P 142

¹⁸ Les « Quantum Dots » (qdots) sont constitués de nanocristaux inorganiques. Source :

http://www.ozyme.fr/actu/jaillissants/seminaire_boites_quantiques_jaillissant.htm

Les Quantum Dots sont des cristaux semiconducteurs de dimensions nanométriques qui présentent des propriétés de fluorescence ajustables par le contrôle de leur diamètre. Source :

http://www.futura-sciences.com/news-quantum-dots-nanocristaux-fluorescents_7346.php

¹⁹ Afsset – Les nanomatériaux : effets sur la santé de l'homme et sur l'environnement – Juillet 2006 – P 147

²⁰ Afsset – Les nanomatériaux : effets sur la santé de l'homme et sur l'environnement – Juillet 2006 – P 148

²¹ Pour en savoir plus : Afsset – Les nanomatériaux : effets sur la santé de l'homme et sur l'environnement – Juillet 2006 – P151

ou bien si elles sont utilisées dans des cosmétiques, voire en tant que vecteurs de médicaments. Elles peuvent également accéder au système gastro-intestinal après déglutition lorsqu'elles sont inhalées. [...] Il est bien démontré que des particules de taille micrométrique peuvent subir une translocation de la lumière intestinale à travers l'épithélium soit via le tissu lymphatique intestinal, soit à travers les cellules épithéliales intestinales. [...] Wang et coll. (2004) ont montré que des nanotubes de carbone monofeuillet administrés par gavage chez la souris se sont distribués dans la majorité des organes et tissus, à l'exception du cerveau. Dans une autre étude par ingestion, faite chez la souris, Hillyer et Albrecht (2001), [...] les nanoparticules étaient retrouvées dans le cerveau, les poumons, le coeur, les reins, les intestins, l'estomac, le foie et la rate.²² »

« Les connaissances actuelles des effets toxiques des nanoparticules manufacturées sont relativement limitées. Néanmoins, les données disponibles indiquent que certaines nanoparticules insolubles peuvent franchir les différentes barrières de protection, se distribuer dans le corps et s'accumuler dans plusieurs organes, essentiellement à partir d'une exposition respiratoire ou digestive. »²³

Informations disponibles sur les effets toxiques des différentes nanoparticules en fonction de la voie d'exposition			
	Voie respiratoire	Voie cutanée	Voie digestive
Fullerènes	Néant	Néant	Oui
Nanotubes de carbone	Oui	Oui	Néant
Nanoparticules inorganiques	Oui	Oui	Oui
Nanoparticules organiques	Néant	Néant	Néant
Quantum dots	Néant	Néant	Néant

Ce tableau montre les déficits de données toxicologiques.

Et en matière de risques sanitaires de quelles informations dispose-t-on ?

Le risque sanitaire relatif à l'exposition à des produits dangereux résulte de deux principaux facteurs : la dangerosité des produits en présence, c'est-à-dire leur toxicité intrinsèque, et le niveau d'exposition des personnes.

En ce qui concerne les travailleurs²⁴ : « Il est clair que, pour les prochaines années, l'exposition des travailleurs aux nanoparticules se fera essentiellement au niveau des laboratoires de recherche, des industries de fabrication et des industries qui utilisent les nanomatériaux pour fabriquer d'autres produits. De nombreux secteurs industriels sont concernés et on estime que deux millions d'employés devraient être directement concernés au niveau mondial d'ici 2010. [...] En France, il n'existe pas aujourd'hui d'études faisant état du nombre d'employés potentiellement exposés aux nanomatériaux. Le site <http://www.nanomateriaux.org>, soutenu par la DIGITIP, enregistre, sur le principe de l'autodéclaration, les laboratoires de recherche, les petites entreprises et les industriels impliqués dans le secteur des nanomatériaux. On y recense environ 200 laboratoires de recherche universitaires, publics ou privés, une vingtaine d'entreprises fabriquant ou fournissant des nanomatériaux et une cinquantaine d'entreprises utilisatrices, mais les données recueillies à ce jour ne permettent pas de faire une estimation des effectifs concernés. Il est à noter que le groupe Arkema a annoncé en février 2006 le démarrage d'une unité pilote de fabrication à l'échelle industrielle de nanotubes de carbone sur son site de Lacq. »

²² Afsset – Les nanomatériaux : effets sur la santé de l'homme et sur l'environnement – Juillet 2006 - P152

²³ Afsset – Les nanomatériaux : effets sur la santé de l'homme et sur l'environnement – Juillet 2006 – P 154

²⁴ Source : Afsset - Les nanomatériaux : effets sur la santé de l'homme et sur l'environnement – Juillet 2006 – chapitre VIII.1

Dans le domaine des nanomatériaux, les données d'exposition sont actuellement peu nombreuses.

« Il est à remarquer qu'aujourd'hui, bien que certains procédés industriels aient utilisé des composés à l'échelle nanométrique depuis des dizaines d'années (notamment le noir de carbone et le dioxyde de titane), les données d'exposition au travail qui incluent la taille et la masse des particules sont très rares. A notre connaissance, l'évaluation des expositions dans les laboratoires de recherche ou dans les entreprises nouvelles du secteur des nanomatériaux n'a fait l'objet d'aucune publication à ce jour. La mesure de l'exposition aux nanoparticules comporte des exigences nouvelles qui nécessitent des approches et des techniques spécifiques. [...] Il existe un besoin important de développement des instrumentations spécifiques, robustes et faciles à mettre en œuvre, ainsi que des stratégies de mesure adaptées, validées et standardisées, pour que des évaluations quantitatives d'exposition puissent être conduites dans les laboratoires et les entreprises concernés. D'autre part, la connaissance de la toxicité des matériaux et l'établissement de relations dose/effets sont un préalable indispensable à une évaluation quantitative du risque sanitaire relatif à l'exposition aux nanomatériaux. Compte tenu des incertitudes sur la toxicité des nanomatériaux, une attitude prudente doit être adoptée, afin de limiter au maximum l'exposition des travailleurs. L'analyse des risques et des mesures de prévention adaptées devrait être conduite par des personnes compétentes en hygiène industrielle et particulièrement averties des risques spécifiques posés par les nanomatériaux. »

En ce qui concerne la population générale²⁵ :

La connaissance reste lacunaire sur les données relatives aux expositions de la population générale. La littérature scientifique publiée à ce jour sur les nanomatériaux et les risques pour la santé humaine s'attache quasi exclusivement aux dangers du à la toxicité plus qu'à l'impact sanitaire découlant de la connaissance des expositions. Les secteurs des cosmétiques, des textiles et des produits pour le sport sont de formidables gisements d'exposition mais ne sont pas les seuls.

« Il n'a pas été trouvé dans la littérature d'évaluation des risques sanitaires au sens strict de la démarche. Une approche qualitative simplifiée des risques pour la santé et l'environnement présentés par les nanoparticules manufacturées a été proposée en juin 2005 par Lux Research, cabinet de consultants new-yorkais spécialisé dans le secteur des nanotechnologies (Lux Research, 2005). [...] Cette approche, bien que très subjective *a priori*, est néanmoins intéressante dans sa démarche et mériterait d'être approfondie en l'absence d'autres outils d'évaluation disponibles et appropriés à court terme. Il n'existe pas de valeurs limites d'exposition de la population générale quel que soit le milieu considéré (air, eau, aliments, etc.). Il n'a pas été trouvé d'études épidémiologiques en population générale dans la littérature scientifique. On retient qu'il existe à ce jour très peu de données sur les potentiels d'exposition de la population générale et aucune sur les risques sanitaires corrélés. Du fait de la diversité des développements possibles et des utilisations attendues des nanomatériaux, aucune étude n'a été conduite spécifiquement pour un type d'exposition apparu comme étant prédominant. Il n'est pas non plus possible, en l'état actuel des connaissances, de privilégier une unique voie d'exposition de la population générale : toutes sont à considérer (inhalation, ingestion et contact cutané). »

Le CPP, dans la conclusion de son avis, dit clairement « Les nanoparticules peuvent donc représenter un danger pour l'homme. Néanmoins il n'existe pas actuellement suffisamment de données ni de méthodologies adaptées pour évaluer les risques pour la santé de l'homme. »

On notera avec intérêt et satisfaction qu'il y a convergence entre les deux avis du CPP et de l'AFSSET.

²⁵ Source : Afsset - Les nanomatériaux : effets sur la santé de l'homme et sur l'environnement – Juillet 2006 – chapitre VIII.2

Mais une première information intéresse le grand public !²⁶

« Un premier inventaire des produits commerciaux dérivés des nanotechnologies, accessible au grand public²⁷ via Internet, est mis en ligne depuis quelques mois²⁸. Cet inventaire est le fruit d'un projet américain porté par le Woodrow Wilson International Center for Scholars et le Pew Charitable Trusts, en partenariat avec des chercheurs, des décideurs publics, des industriels et des ONG. Débutés en avril 2005, ces travaux visent à favoriser un développement transparent des nanotechnologies dans un objectif de minimisation des risques pour les consommateurs. Ainsi, à ce jour, 212 produits disponibles pour les consommateurs, dont l'élaboration utilise les nanotechnologies ou bien qui incorporent des nanomatériaux, sont recensés dans cette liste, non exhaustive, qui sera mise à jour régulièrement. Les fiches produits ont une entrée par nom commercial. [...] Parmi les types de produits les plus cités, on trouve les vêtements, les accessoires sportifs et les cosmétiques et produits d'hygiène corporelle. On recense également des jouets, des appareils électroniques et informatiques, des emballages alimentaires, des matériaux de construction et d'ameublement. Les nanocomposants les plus couramment utilisés sont dans l'ordre décroissant : du carbone (essentiellement nanotubes et fullerènes), de l'argent, du silicium, de l'oxyde de titane, de l'oxyde de zinc et de l'oxyde de cérium. »

Le rapport de l'AFSSET en annexe 1 (Pages 223 et suivantes) présente un inventaire de produits de consommation courante liées aux nanotechnologies dont les informations sont tirées du Woodrow Wilson International Center for Scholars.

Les points essentiels des recommandations des avis du CPP et de l'AFSSET

Nous ne pouvons que recommander de les lire dans leur intégralité : avis du CPP P 6 à 10, et rapport de l'AFSSET P 197 à 206 ainsi que l'avis.

Le CPP

« De l'analyse ainsi menée, il ressort au premier chef que les nanoparticules, du fait de leur très petite taille, peuvent susciter une réaction biologique et présenter un danger. Néanmoins, il n'existe pas actuellement suffisamment de données ni de méthodologies adaptées pour évaluer les risques pour la santé de l'homme. Compte tenu de ce constat, le CPP émet quatre séries de recommandations : recenser les nanoparticules issues des nanotechnologies et les filières de production²⁹ ; produire de nouvelles connaissances³⁰ ; adopter dès maintenant des mesures de précaution³¹ ; enfin, mettre en place une réflexion sociétale plus large et mieux appréhender ainsi l'évaluation du rapport bénéfices/risques engendrée par le développement de ces nanotechnologies. »

L'AFSSET

« Le Comité d'experts spécialisés approuve les conclusions et recommandations du rapport en termes de :

- connaissance des nanoparticules et nanomatériaux,
- coordination de la recherche,
- détection des nanoparticules,

²⁶ Source : Afsset - Les nanomatériaux : effets sur la santé de l'homme et sur l'environnement P 39 et 179.

²⁷ Mais malheureusement en anglais !

²⁸ <http://www.nanotechproject.org/index.php?id=44>

²⁹ Normaliser la nomenclature des nanoparticules pour les identifier formellement sans ambiguïté et assurer la transparence de la production et des usages.

³⁰ Identifier les populations concernées et développer la métrologie pour en mesurer les expositions, mieux connaître les dangers et les risques en les évaluant chez l'homme mais aussi pour les espèces et les écosystèmes, stimuler et coordonner les recherches sur les dangers et les risques.

³¹ Protéger les travailleurs, la population en général et les écosystèmes et le CPP effectue un ensemble de recommandations en la matière, élaborer un dispositif national réglementaire en cohérence avec les recommandations de la Commission européenne.

- toxicologie, épidémiologie, caractérisation des expositions humaines et évaluation des risques sanitaires,
- moyens de protection individuels et collectifs,
- normalisation et réglementation,
- formation et information.

Et notamment :

- Recommande que la surveillance des nanomatériaux par une structure indépendante et décisionnelle inclue d'une part un programme de recherche fondamentale et appliquée (métrologie, détection, toxicité et épidémiologie) sur les méthodes de cette surveillance et d'autre part l'étude des modalités d'enregistrement et le suivi de personnes exposées dont notamment les employés des industries productrices et utilisatrices de nanomatériaux.
- Recommande la prise en compte de la spécificité des nanomatériaux par l'Union Européenne dans le cadre de l'élaboration de la réglementation REACH (Registration, Evaluation and Authorisation of Chemicals).
- Recommande que la France propose à l'Union européenne et aux organismes internationaux concernés par la santé, l'environnement et la santé au travail (OMS, UICN, OIT, etc.) de travailler à une harmonisation internationale des études et réglementations concernant les nanomatériaux.
- Recommande de développer des outils permettant de définir la responsabilité des industriels et une réflexion indépendante sur l'opportunité d'une procédure assurant la traçabilité des nanomatériaux manufacturés.
- Recommande une étude des conséquences du secret industriel sur l'évaluation du risque sanitaire et environnemental des nanomatériaux manufacturés.
- Recommande l'élaboration d'un registre international, publiquement accessible, des nanomatériaux commercialisés ou en voie de l'être et des produits susceptibles d'en contenir.
- Recommande une diffusion de l'information et la facilitation de l'accès au savoir concernant la production, les usages, les bénéfices et les risques des nanomatériaux en s'inspirant notamment de l'exemple de l'EPA (www.epa.gov/epahome/r2k.htm). »³²

Que se passe-t-il aujourd'hui dans le secteur des nano ?

Des thèses sont en cours en France, dont certaines avec le partenariat de l'Ineris. Citons notamment celle de Dan Elgrabli « toxicologie des nanotubes de carbone ». Les principales questions abordées au cours de cette thèse seront : Quel est l'effet induit in vivo et in vitro par les nanotubes de carbone ? Interactions entre cellules/tissus et particules (capture, translocation, biodistribution). Etude de la réponse inflammatoire et du stress oxydant. Effet de ces nanotubes sur un modèle pathologique.

http://www.ineris.fr/index.php?module=cms&action=getContent&id_heading_object=108

Rappelons qu'à l'occasion de la présentation de son rapport scientifique pour 2004 et 2005, l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris) a présenté des thèmes de recherche actuelle et plus particulièrement les risques liés aux nanotechnologies³³.

Un ensemble de programmes européens concerne les nanotechnologies. ([Voir leurs titres et sites](#) dédiés). Le programme européen Nanosafe 2, lancé en 2005, viserait « à mettre sur pied une nouvelle industrie entièrement sécurisée sur les questions de santé et d'environnement. »³⁴

Les Ministères ayant en charge l'environnement, la santé et le travail ont, par une lettre co-signée du 29 juin 2006, effectué une saisine complémentaire de l'AFSSET sans

³² Avis de l'AFSSET.

³³ <http://www.ineris.fr/index.php?module=doc&action=getFile&id=2426>

³⁴ Selon le Figaro du 02/06/2006 cft ci-dessus.

attendre l'avis final en réponse à leur saisine du 7 septembre 2005 et au seul vu de son rapport intermédiaire. La lettre de saisine comporte notamment le texte suivant :

« Nous appelons dès à présent votre attention sur une problématique prioritaire mise en évidence dans votre rapport intermédiaire : il s'agit de la métrologie des nanoparticules et nanomatériaux, sujet qui nous semble susceptible d'être inscrit dans le cadre de votre prochain appel à propositions de recherches.

L'industrialisation et l'augmentation des capacités de production entraînent des inquiétudes à court terme pour la protection de la santé des travailleurs qui seraient d'ores et déjà exposés à ces nanomatériaux, mais également à long terme, considérant la diversité potentielle de leurs applications, la diffusion des techniques et produits concernés, et, par voie de conséquence, l'extension importante des situations d'exposition.

Ces inquiétudes nous conduisent à demander à votre agence de poursuivre les études engagées dans le cadre de la saisine du 07/09/2005, et de vous appuyer sur ses résultats pour aborder de nouveaux champs d'expertises, guidés par les besoins suivants :

- obtenir des informations sur les procédures mises en place ou manquantes chez les industriels quant à l'évaluation des dangers des substances produites et à la communication des résultats de cette évaluation aux autorités compétentes dans le cadre prévu par la législation communautaire en vigueur ;
- effectuer une synthèse des évaluations des risques d'ores et déjà réalisées par les industriels ou publiées dans la littérature et des moyens actuellement mis en œuvre pour garantir la protection des travailleurs qui pourraient être exposés à des nanomatériaux, notamment dans les secteurs industriels et de la recherche ;
- faire des recommandations de mesures les plus appropriées pour pouvoir garantir la protection des travailleurs et des populations riveraines qui pourraient être exposés, en particulier aux nanomatériaux ou procédés mis en œuvre pour leur production faisant déjà l'objet d'une industrialisation et/ou pouvant être considérés comme les plus à risques. »

Le nouvel avis de l'AFSSET est attendu pour la fin du 1^{er} semestre 2007.

Les Ministères sus-cités dans le courrier du 29 juin annoncent qu'ils vont saisir l'AFSSA³⁵ pour explorer, dans le cadre des nanoparticules et des nanomatériaux, les « questions relatives aux aliments et à la chaîne alimentaire, aux eaux d'adduction et embouteillées. »

D'ailleurs, dans un document de juillet 2004, l'AFSSA présente le programme de travail de la Direction de l'évaluation des risques nutritionnels et sanitaires (DERNS) pour la nouvelle mandature 2004-2007, les nanomatériaux y sont abordés avec un objectif de veille.

<http://www.afssa.fr/Object.asp?IdObj=25997&Pge=0&CCH=060916:26:4&cwSID=CDD5A5E6F1B94EB69997593D1D595049&AID=0>

Dominique de Villepin lors discours de clôture des Etats généraux des entreprises et du Développement durable le 31 mai³⁶ a déclaré : « Nous devons associer davantage l'ensemble de nos concitoyens aux grands choix de société qui sont devant nous. Pour cela, nous devons recourir beaucoup plus largement à de grands débats publics nationaux, qui sont l'occasion de confronter les points de vue des experts et les attentes des citoyens. [...] C'est ce que nous voulons faire aujourd'hui pour les nanotechnologies. Alors que les perspectives dans ce domaine sont extrêmement prometteuses, des inquiétudes s'expriment en France comme à l'étranger. Je demande à François Loos et François Goulard de lancer sans attendre un grand débat national sur les enjeux et les opportunités des nanotechnologies. » Le lendemain devant un large public, lors de sa visite à Minatec, « le ministre de l'Industrie, François Loos, a annoncé qu'il avait été chargé avec son collègue de la Recherche, François Goulard, d'organiser un « vaste débat

³⁵ Agence Française de sécurité sanitaire des aliments.

³⁶ http://www1.enviroennement.gouv.fr/article.php3?id_article=5897

national où seront posées publiquement les questions qui inquiètent certains» sur les nanotechnologies.³⁷

Qu'en est-il aujourd'hui ?

Dans le cadre de la présentation de la Mission Recherche figure explicitement les nanotechnologies. (17/08/2006)

<http://www.education.gouv.fr/cid2699/presentation-de-la-mission-recherche.html>

Claude Girard a été nommé Conseiller pour l'énergie, les nanotechnologies et les technologies de l'information et de la communication (JO du 27/07/06) au Cabinet du Ministre délégué à l'Enseignement supérieur et à la Recherche.

<http://www.recherche.gouv.fr/ministre/cabinet.htm>

Nous n'avons pas su trouver d'informations sur le thème du débat annoncé ni sur le site portail de l'Etat concernant les nano <http://www.nanomicro.recherche.gouv.fr/> ni sur celui du Ministère de la Recherche, aussi nous nous sommes manifestés auprès de Claude Girard par courrier électronique le 18/09/2006 en lui posant la question : Que devient le projet de « vaste débat national où seront posées publiquement les questions qui inquiètent certains sur les nanotechnologies » ?

Claude Girard a appelé José Cambou. Sa réponse téléphonique du 19/09/2006 (selon notes d'entretien) : Dans une première phase nous sommes attentifs aux manifestations spontanées ou organisées par d'autres sur ce thème. Nous interviendrons début de l'année prochaine sans doute en labellisant des manifestations. A terme il y aura un site internet. On ne peut pas imaginer un débat organisé par l'Etat dans le style de celui qui a eu lieu sur l'énergie, sur ce dossier là il y a une grande maturité ; pour les nano, c'est un débat nouveau qui s'installe, l'outil ne peut pas être le même. Nous sommes attentifs aux remontées de terrain. Les questions santé et sociétales doivent être intégrées.

Que dire en conclusion ?

Les nano sont déjà parmi et nous avons vu que cela est avec une très large gamme qui va aussi bien des matériaux en passant par le textile, les cosmétiques, l'alimentation, l'armement, etc.

Il est impératif que chacun se sente concerné. Pour FNE l'urgence est que les citoyens et les associations s'en préoccupent y compris, bien évidemment, sous l'angle risques sanitaires.

Si vous lisez les rapports cités, consultez les sites, etc. et avez un avis particulier à faire valoir, vous pouvez l'adresser à Claude Girard secretariat.girard@recherche.gouv.fr
Mais n'oubliez pas de nous en adresser copie. jose.cambou@fne.asso.fr

Pour en savoir plus !

A lire :

- L'avis du Comité de la Prévention et de la Précaution (CPP) : "Nanotechnologies, nanoparticules : quels dangers ? Quels risques ?" a été rendu public le 05/07/2006³⁸ - Saisine du MEDD de décembre 2004.
http://www1.environnement.gouv.fr/IMG/pdf/Nanotechnologies_juin_2006.pdf 2,5 Mo
- Discours de Madame Nelly OLIN pour la conférence de presse du 05/07/2006 sur les nanotechnologies organisée par le Comité de la Prévention et de la Précaution.
http://www1.environnement.gouv.fr/article.php3?id_article=6042

³⁷ Le Figaro 02/06/2006

http://www.lefigaro.fr/sciences/20060602.FIG000000204_manifestation_contre_les_nanotechnologies.html

³⁸ Les nano technologies impliquées dans les produits de santé étant traitées par d'autres organismes, elles ont volontairement été exclues du champ de réflexion.

- Avis de l'Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail relatif aux effets des nanomatériaux sur la santé de l'homme et sur l'environnement - Saisine Afsset n° 2005/010 du 07/09/2005.

http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/028049585039141673099008860876/nanomateriaux_2006.pdf

rapport 3M° et synthèse du rapport du groupe de travail préalable à l'avis

<http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/783616690844798475244893647762/nanomateriaux.pdf>

http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/587621558014304413168640606286/synthese_nanomateriaux_2006.pdf

- Un livre blanc consacré à la gestion des risques posés par le développement des nanotechnologies vient d'être publié par l'International Risk Governance Council (IRGC), une fondation privée à but non lucratif « dont le rôle est d'informer et de guider les acteurs économiques, politiques et sociaux dans la gestion des risques. »

http://www.irgc.org/irgc/b/contentFiles/IRGC_white_paper_2_PDF_final_version.pdf en anglais

- L'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST), situé au Québec, dresse un bilan des connaissances scientifiques actuelles sur le sujet et met en ligne³⁹ deux dossiers l'un sur les effets sur la santé, l'autre sur les risques et les mesures de prévention.

- "Matériaux nanotechnologiques, crèmes solaires et cosmétiques : petits ingrédients mais grand risques" publié par Les Amis de la Terre US (FoE USA) et les Amis de la Terre Australie. <http://www.foe.org/camps/comm/nanotech/index.html> en anglais

- « Nanosciences et nanotechnologies : quelques repères sur le sujet »

<http://www.cea.fr/fr/sciences/nanosciences.htm>

- « Nanotechnologies, le vertige de l'infiniment petit » article du monde diplomatique qui interpelle sur les « éventuels impacts sanitaires » et les questions éthiques.

http://www.monde-diplomatique.fr/2006/03/BENOIT_BROWAEYS/13299

- Rappelons à ceux qui sont destinataires d'Actu du Réseau santé-environnement de FNE que figure, depuis avril 2006, dans chaque numéro une rubrique sur les nanoparticules.

Sites Internet :

• En français

<http://www.nanomateriauxetsecurite.fr>

Ecrin : <http://www.ecrin.asso.fr/nanomx/index.html>

Sciences et démocratie, Toxicité des nanoparticules et des nanotubes

<http://www.sciences-et-democratie.net/debats/nanomonde/toxicite-des-nanoparticules.html>

Les comptes rendus des débats organisés par Vivagora <http://www.vivagora.org/>

Portail nanosciences nanotechnologies du Ministère de la recherche

<http://www.nanomicro.recherche.gouv.fr/>

• En anglais

International Council on nanotechnology : <http://icon.rice.edu>

The Safety of Nano-materials Interdisciplinary Research Centre (SnIRC) Initiative :

<http://www.snirc.org/>

NIOSH

http://www.cdc.gov/niosh/topics/nanotech/nano_exchange_health.html

<http://www.cdc.gov/niosh/topics/nanotech/default.html>

et ceux des Programmes européens :

- SHAPE-RISK <http://shaperisk.jrc.it/index.html>

- NANODERM <http://www.uni-leipzig.de/~nanoderm/index.html>

- NANOPATHOLOGY <http://www.nanopathology.it/paginei/nanopathology.htm>

- NANOSAFE <http://www.nanosafe.org/>

- SILICERAM <http://www.ceram.com/siliceram.htm>

- IMPART et NANOTOX <http://www.impart-nanotox.org/impartnanotox/> et

<http://www.nanotox.info>

³⁹ <http://www.irsst.qc.ca/files/documents/PubIRSST/R-451.pdf>

<http://www.irsst.qc.ca/files/documents/PubIRSST/R-455.pdf>